In the name of Allah, the Most Gracious, the Most Merciful













Chapitre II:

II.3. Réfraction Plane, Dioptre Plan.

II.3.1 Définition.

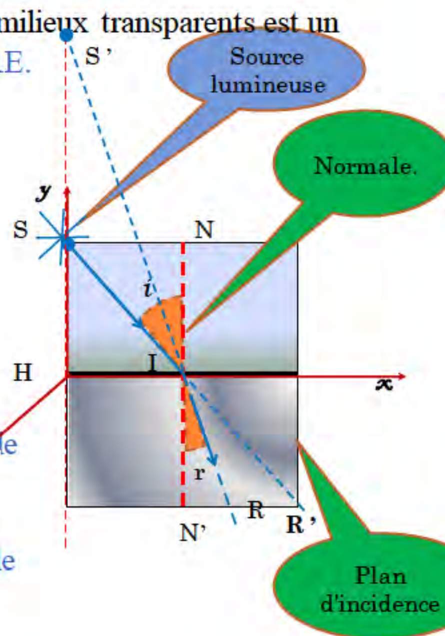
On appelle **réfraction** de la lumière le **changement de direction** que la lumière subi à la traversée d'une surface de séparation entre deux milieux transparents. La **réfraction** est le deuxième phénomène qui se produit lorsque le rayon lumineux interagit avec un **système optique**.



Le rayon lumineux incident **traverse** le deuxième milieu en **changeant** de direction

II.3.2 Aspect géométrique et définitions.

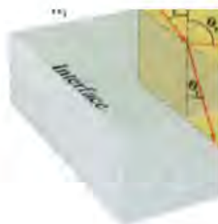
La surface qui sépare les deux milieux transparents est un système optique appelé DIOPTRE.



- •S: Est la source lumineuse,
- •I: Le point d'incidence,
- •SI: Le rayon incident,
- •NIN' :Normale au dioptre,
- • i: Angle d'incidence.
- •IR': La direction incidente,
- •IR: Est le rayon réfracté,
- •r: L'angle de réfraction.
- •IS': Est la direction réfractée.
- •S': Est l'image de S donnée par le dioptre,
- •H: Le point d'intersection de la normale passant par l'objet avec le dioptre.

II.3.3 Lois de la Réfraction.

Il existe, aussi, deux lois qui régissent la réfraction de la lumière. Loi de la réfraction:

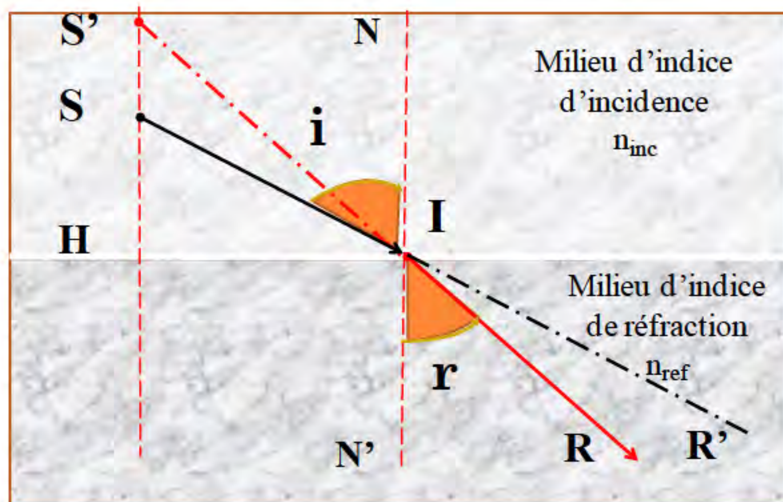


Comme dans le cas de la réflexion:

- la première loi de la réfraction dit que **le plan d'incidence** et le plan de **réfraction** sont **confondu**.
- La deuxième loi dite de Snell Descartes dit que:

$$n_{inc}\sin(i)=n_{ref}\sin(r)$$

$$n_{inc}\sin(i) = n_{ref}\sin(r)$$



II.3.4 Analyse de la loi de la réfraction.

La loi de **Snell Descartes** est conditionnée par la fonction sinus et les indices de réfraction. On retrouve deux situations différentes.

a) L'objet peut se trouver dans un milieu **plus réfringent**. C'est le cas du **pécheur** qui joue le rôle **d'observateur** et le **poisson** qui joue le rôle **d'objet**.

b) L'objet peut se trouver dans le milieu le **moins réfringent**. Le **pécheur** joue le rôle **d'objet** et le poisson joue le rôle **d'observateur**.

$$\sin(r) = \left(\frac{n_{inc}}{n_{ref}}\right) \times (\sin(i)) \Rightarrow \begin{cases} \frac{n_{inc}}{n_{ref}} < 1 \\ \frac{n_{inc}}{n_{ref}} > 1 \end{cases} \quad et \ \sin(i) \leq 1$$

Trois situations peuvent se présenter.

Soit :

A- $\sin(r) = \left(\frac{n_{inc}}{n_{ref}}\right) \times (\sin(i)) < 1$

B- $\sin(r) = \left(\frac{n_{inc}}{n_{ref}}\right) \times (\sin(i)) = 1$

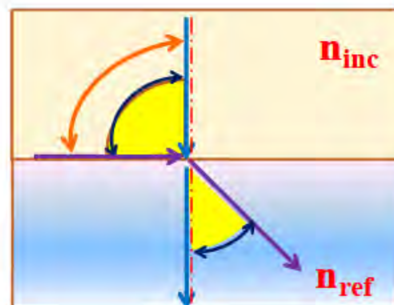
C- $\sin(r) = \left(\frac{n_{inc}}{n_{ref}}\right) \times (\sin(i)) > 1$

II.3.4.1 Cas ou $n_{inc} < n_{ref}$.

L'angle i est : $0 < i < 90°$.
L'angle r est conditionné par le rapport n_{inc}/n_{ref} ainsi que la fonction **sinus.**

Si $i = 0°$ ➔ $r = 0°$

Si $i_{max} = 90°$ ➔ $r = r_{max}$



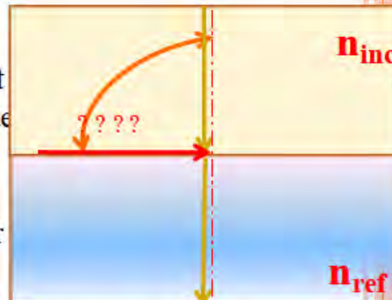
$$\sin(r) = \frac{n_{inc}}{n_{ref}} \sin(i) \Rightarrow r_{max} = \sin^{-1}\left[\frac{n_{inc}}{n_{ref}} \sin(i_{max})\right]$$

Si l'objet se trouve dans un milieu le moins réfringent toute la lumière incidente va se réfracte dans le deuxième milieu sans condition.

Le rayon lumineux issu de l'objet va-t-il être réfracté dans le deuxième milieu quelque soit son incidence?

II.3.4.2 Cas ou $n_{inc} > n_{ref}$.

L'angle i est : $0 < i < 90°$.
Comme dans le cas précédent, l'angle r est conditionné par le rapport n_{inc}/n_{ref} ainsi que la fonction sinus.
Si $i = 0° \Rightarrow r = 0°$
Si $i_{max} = 90° \Rightarrow \sin(r) > 1$ impossible. Car la fonction sinus est toujours ≤ 1.



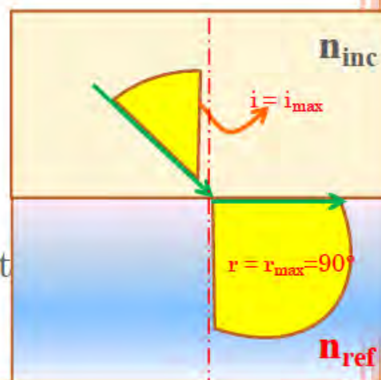
La réfraction ne peut avoir lieu que si $\sin(r) \leq 1$.

$$\sin(r) = \frac{n_{inc}}{n_{ref}} \sin(i)$$

$$\sin(r) = \frac{n_{inc}}{n_{ref}} \sin(i) \rangle 1 \Rightarrow \text{situation impossible.}$$

Pour résoudre le problème on fait un chemin inverse.
on pose $\sin(r_{max}) = 1 \Rightarrow$ l'angle $r_{max} = 90°$ et on déduit l'angle d'incidence i_{max} correspondant

$$\frac{n_{inc}}{n_{ref}} \times \sin(i) = 1$$



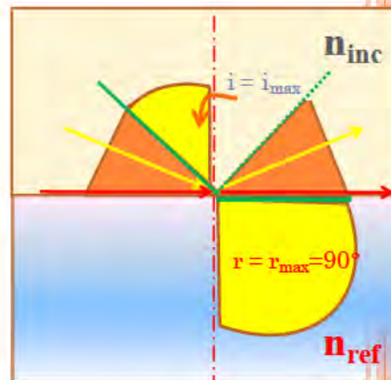
$$\sin(r_{max}) = 1 \Rightarrow \frac{n_{inc}}{n_{ref}} \sin(i_{max}) = 1 \Rightarrow \sin(i_{max}) = \frac{n_{ref}}{n_{inc}}$$

La réfraction ne peut avoir lieu dans ce cas, que si l'angle d'incidence $i \leq i_{max}$.

i_{max} est dit angle d'incidence limite (maximal), il correspond à valeur maximale de l'angle de réfraction max.

II.3.4.3. Réflexion totale.

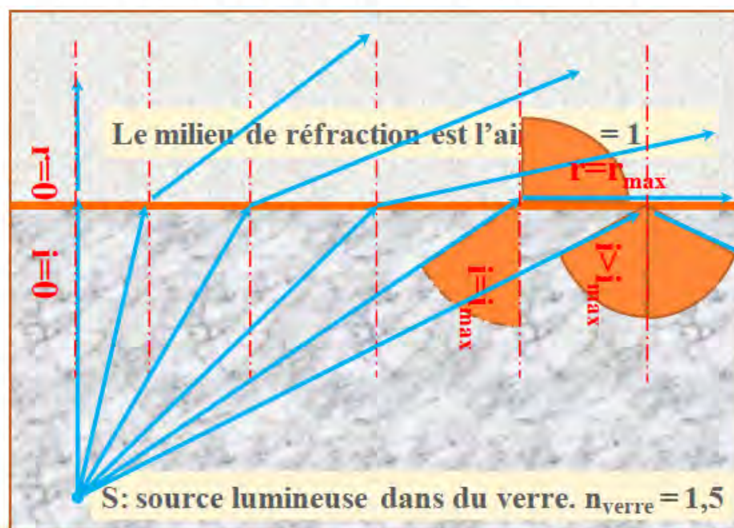
Lorsque $n_{inc} > n_{ref}$ et que l'angle d'incidence $i > i_{max}$ ➔ $\sin(r) > 1$, cas impossible, le dioptre se comporte comme un miroir plan.



Le rayon incident est réfléchit totalement avec i = i'.

$$\sin(r) = \frac{n_{inc}}{n_{ref}} \sin(i) \geq 1$$

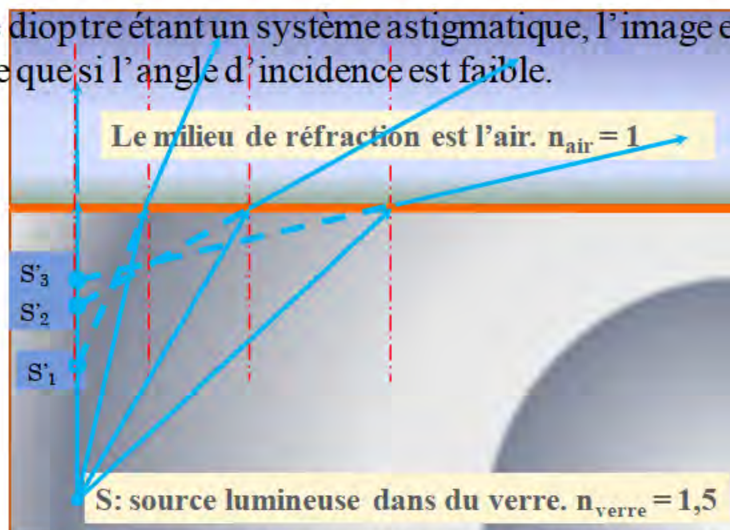
La simulation suivante permet de comprendre le fonctionnement du système.



La réflexion est totale si les deux conditions sont satisfaites :
$n_{inc} > n_{ref}$ et que $i > i_{max}$

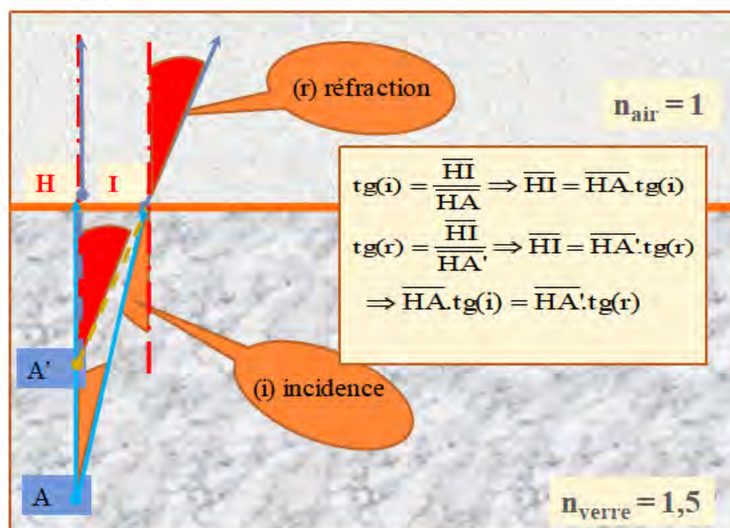
II.3.5 Caractéristiques de l'image donnée par réfraction.

Le dioptre étant un système astigmatique, l'image est nette que si l'angle d'incidence est faible.



L'image est située sur le point d'intersection de la normale passant par l'objet avec la direction du rayon lumineux réfracté.

II.3.5.1 Approximations de Gauss.



Pour que l'image soit nette et unique, il faut que les incidences soient faibles.

Dans le cas des incidences faibles,
$tg(i) \cong \sin(i)$ et $tg(r) \cong \sin(r)$.

$$\overline{HA}.tg(i)=\overline{HA'}.tg(r) \Rightarrow \overline{HA}.\sin(i) = \overline{HA'}.\sin(r).$$

$$\Rightarrow \overline{HA'} = \overline{HA}.\frac{\sin(i)}{\sin(r)}$$

On sait aussi que $n_{inc}.\sin(i) = n_{ref}.\sin(r)$

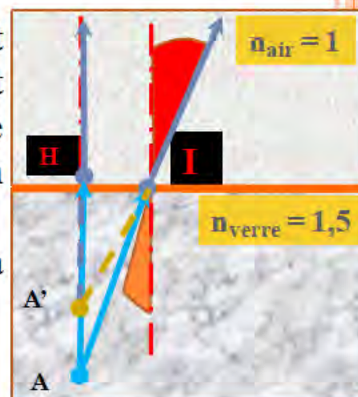
$$\Rightarrow \frac{\sin(i)}{\sin(r)} = \frac{n_{ref}}{n_{inc}}$$

$$\Rightarrow \overline{HA'} = \overline{HA}.\frac{n_{ref}}{n_{inc}}$$

II.3.5.2 Position de l'image.

L'image donnée par réfraction est toujours située sur le point d'intersection de la normale passant par l'objet avec la direction émergente.

Sa position est donnée par la relation de conjugaison:



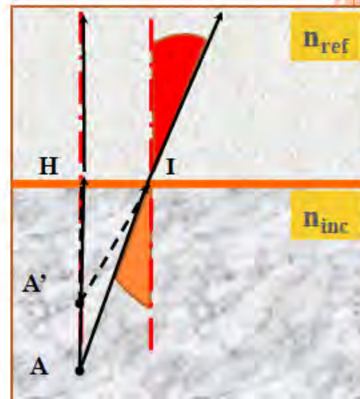
$$\overline{HA'} = \overline{HA}.\frac{n_{ref}}{n_{inc}}$$

II.3.5.3 Nature de l'image.

➢ Cas d'un objet réel.

La lumière incidente au système optique est divergente on définit un objet réel.

La lumière émergente du système optique est divergente on définit une image virtuelle.

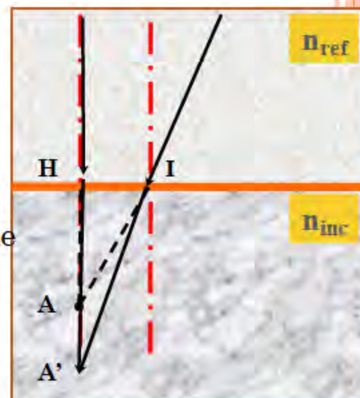


L'image est de nature différente de celle de l'objet.

➢ Cas d'un objet virtuel.

La lumière incidente au système optique est convergente on définit un objet virtuel.

La lumière émergeante du système optique est convergente on définit une image réelle.



L'image est toujours de nature différente de celle de l'objet.

II.3.5.4 Orientation et taille de l'image.

L'image donnée par un dioptre plan est toujours de taille différente que celle de l'objet. Elle est orienté dans le même sens de l'objet.

II.3.6. Remarques.

Si $n_{inc} < n_{ref}$

- La réfraction est toujours possible.
- L'angle d'incidence est toujours : $0 \leq i \leq 90$.
- L'angle de réfraction est toujours: $0 \leq r \leq r_{max}$.
- On déduit que $r < i$ et on dit que le rayon réfracté se rapproche de la normale.
- L'image donnée par le dioptre s'éloigne du système optique.
- Le poisson verra l'image du pécheur plus éloignée du système optique.

Si $n_{inc} > n_{ref}$

- La réfraction est conditionnée par : $i < i_{max}$.
- L'angle d'incidence est compris : $0 \leq i \leq i_{max}$.
- L'angle de réfraction est toujours: $0 \leq r \leq 90°$.
- On déduit que $r > i$ et on dit que le rayon réfracté s'éloigne de la normale.
- L'image donnée par le dioptre se rapproche du système optique.
- Le pécheur verra l'image du poisson plus proche.

II.3.7 Déviation du rayon lumineux

II.3.7.1. Définition.

Elle représente l'angle formé entre la direction incidente et la direction émergente du rayon lumineux.

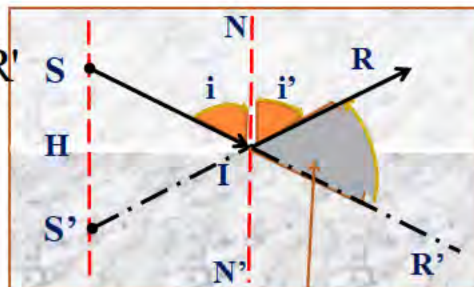
II.3.7.2. Cas de la réflexion.

SIR'=180°=SIN+NIR+RIR'

On a: SIN = NIR = i

180° = 2.i + RIR'

$\Rightarrow$ D=RIR'=180°-2 i



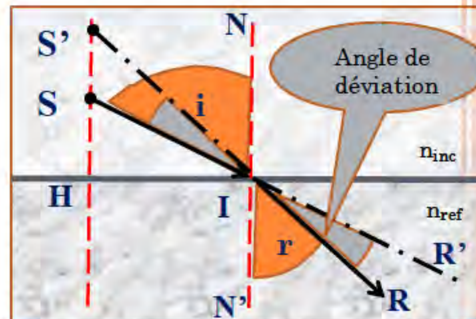
Angle de déviation

II.3.7.3. Cas de la réfraction.

Dans le cas de la réfraction, elle est définie par:

$D = i - r$ si $n_{inc} < n_{ref}$

$D = r - i$ si $n_{inc} > n_{ref}$

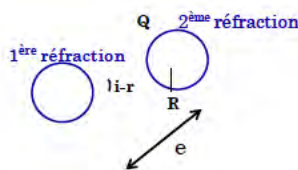


II.3.8. Applications des lois de réflexions et de réfractions.

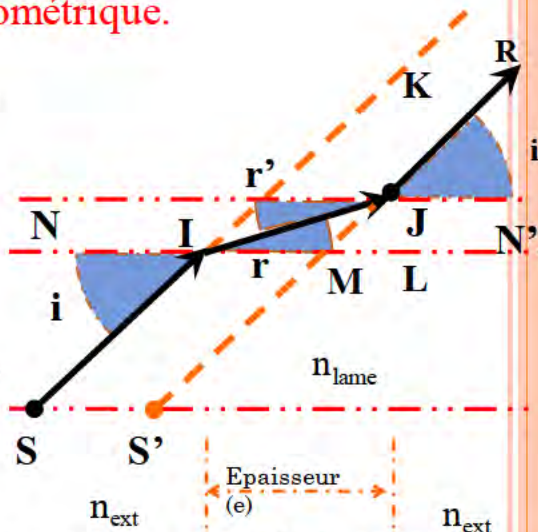
II.3.8.1 Lames à faces parallèles.

II.3.8.1.1 Définition.

c'est un système optique délimité par deux dioptres parallèles. La lame ne peut être considérée comme lame à faces parallèles que si le milieu d'incidence et le milieu d'émergence du rayon lumineux soient le même.



II.3.8.1.2. Aspect géométrique.



Sur la face d'incidence on a:

$n_{ext}\ \sin(i) = n_{lame}\ \sin(r)$

Sachant que les deux normales sont parallèles entre elles on déduit que: $r = r'$

Sur la face d'emergence on a:

$n_{lame}\ \sin(r') = n_{ext}\ \sin(i')$

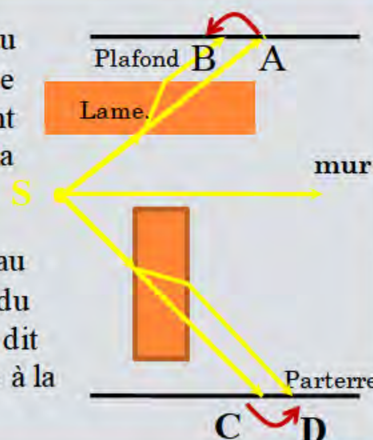
On déduit que $i = i'$

A la traversée d'une lame à face parallèle le rayon lumineux émergent subit deux réfractions. Sa direction est toujours parallèle au rayon lumineux incident.

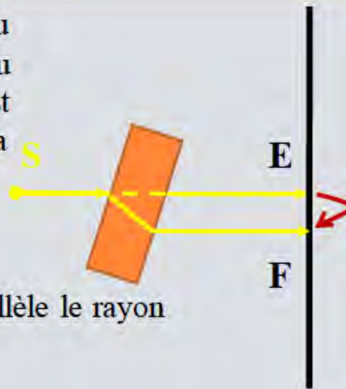
II.3.8.1.3 Différents Déplacements Du Rayon Lumineux.

➢ La lame placé parallèlement au plafond, la tache lumineuse se déplace du point A au point B. Ce déplacement est dit parallèle, AB est parallèle à la face de la lame..

➢ La lame placé perpendiculairement au parterre, la tache lumineuse se déplace du point C au point D. Ce déplacement est dit perpendiculaire, CD est perpendiculaire à la face de la lame..



➢La lame est placé latéralement au mur, la tache lumineuse se déplace du point E au point F. Ce déplacement est dit latéral, EF n'est pas parallèle à la face de la lame.



A la traversée d'une lame à faces parallèle le rayon lumineux subit trois déplacements.

a) Un déplacement parallèle.
b) Un déplacement perpendiculaire.
c) Un déplacement latéral.

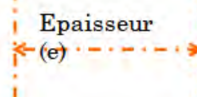
II.3.8.1.4. Caractéristiques de l'image donnée par une lame à faces parallèles.

II.3.8.1.4.1. Conditions de gauss.

Sachant que l'image est le résultat de deux réfractions, et que le dioptre est un système astigmatique. L'image est nette que si les incidences sont faibles.



Dans le cas des faibles incidences on a :



$$\overline{IM} = \overline{SS'}$$

$\overline{IM}$:Est le déplacement perpendiculaire, il est définit par

$$\overline{SS'} = \overline{IM} = e \times \left[1 - \frac{tg(r)}{tg(i)} \right] \Rightarrow \overline{SS'} = \overline{IM} = e \times \left[1 - \frac{sin(r)}{sin(i)} \right].$$

Dans le cas des faibles incidences on a:
$tg(i) = sin(i)$ et $tg(r) = sin(r)$

On sait aussi que : $n_{inc} \sin(i) = n_{ref} \sin(r)$

$$\Rightarrow \frac{sin(r)}{sin(i)} = \frac{n_{inc}}{n_{ref}}. \quad \Rightarrow \overline{SS'} = e \times \left[1 - \frac{n_{inc}}{n_{ref}} \right] = e \times \left[\frac{n_{ref} - n_{inc}}{n_{ref}} \right]$$

$$\overline{SS'} = e \times \left[\frac{n_{ref} - n_{inc}}{n_{ref}} \right]$$

II.3.8.1.4.2. Position de l'image.

Elle est située sur le point d'intersection de la normale passant par l'objet avec la direction émergeante.

$$\overline{SS'} = e \times \left[\frac{n_{ref} - n_{inc}}{n_{ref}} \right]$$

Deux situations peuvent se présentées:

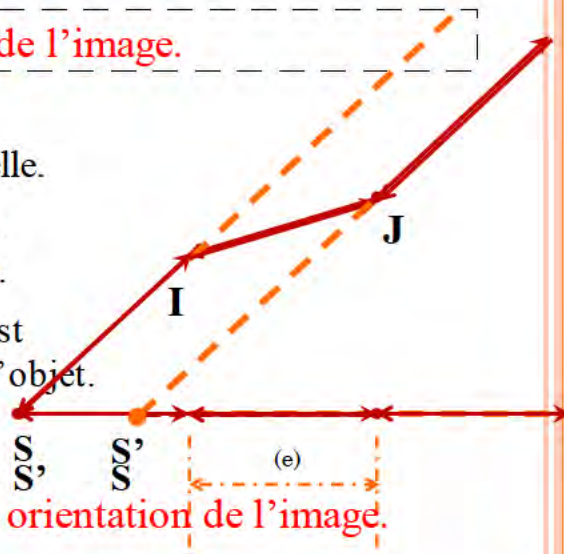
- Soit que $\mathbf{n_{ref} > n_{inc}}$ ➔ **SS' > 0** ➔ l'image se rapproche du système optique. Dans le sens positif de propagation de la lumière.
- Soit que $\mathbf{n_{ref} < n_{inc}}$ ➔ **SS' < 0** ➔ l'image s'éloigne du système optique. Dans le sens opposé que celui de propagation de la lumière.

II.3.8.1.4.3. Nature de l'image.

L'objet (S) est réel.
L'image (S')est virtuelle.

L'objet (S) est virtuel.
L'image (S') est réelle.

La nature de l'image est différente de celle de l'objet.



II.3.8.1.4.4.Taille et orientation de l'image.

L'image est orientée dans le même sens de l'objet, elle est de même grandeur que l'objet.

II.3.8.2 Prisme.

II.3.8.2.1 Définition.

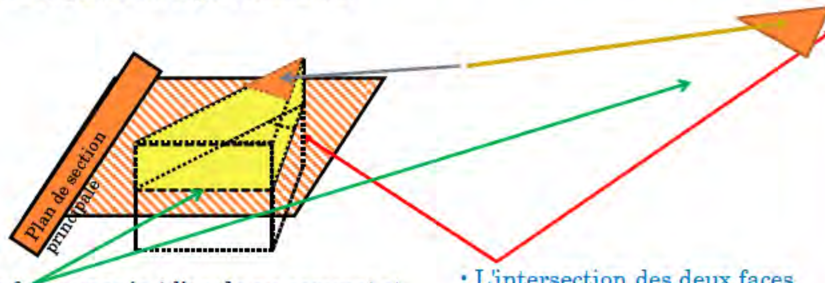
C'est un **système optique** (milieu homogène transparent) délimité par deux **dioptres** non parallèles.

Il permet de **disperser** la lumière incidente, après sa traversée du prisme

La lumière **incidente** étant **poly chromatique**, i.e., blanche, (plusieurs couleurs), à l'émergence elle devient **mono chromatique** (une seule couleur).

II.3.8.2.2. Rôle et aspect géométrique.

L'angle au **sommet** est l'angle formé par la face **d'incidence** et la face **d'émergence** du rayon lumineux.



la face opposée á l'angle au sommet et dite la **base du prisme**.

• L'intersection des deux faces (dioptres) constitue l'arête du prisme.

Si le rayon lumineux arrive du coté de l'angle au sommet il est pris **négativement**, sinon, il est **positif**.

II.3.8.2.3 Marche du rayon lumineux.

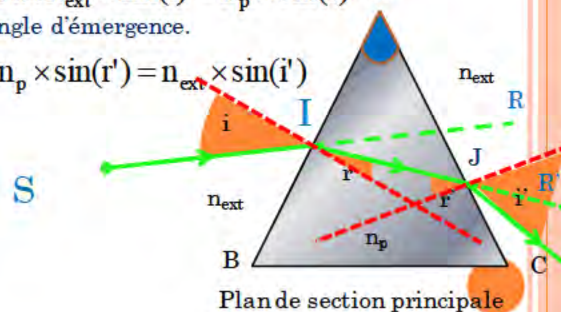
L'indice du prisme étant $\mathbf{n_p}$, il est placé dans le milieu extérieur d'indice $\mathbf{n_{ext}}$. **AB face d'incidence**, **AC face d'émergence**, **A** angle au **sommet.**

S: la source lumineuse, **SI** rayon incident, **IR** la direction incidente.
i: angle d'incidence, **r:** angle de réfraction, **J** point d émergence, **JR'** direction incidente sur la face d'émergence.

$$\text{sur la face d'incidence on a : } n_{ext} \times \sin(i) = n_p \times \sin(r)$$

r': angle d'incidence sur AC, **i'** angle d'émergence.

$$\text{sur la face d'emergence on a : } n_p \times \sin(r') = n_{ext} \times \sin(i')$$



Plan de section principale

II.3.8.2.4. Relation entre les angles de réfractions interne.

Dans le triangle AIJ, on a:

A + I + J = 180°

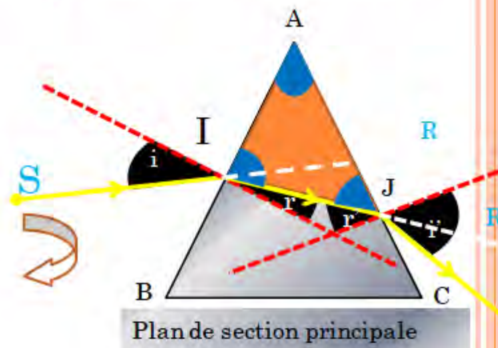
A: est l'angle au sommet du prisme.

I = 90° - r et J = 90° - r'

→ A + (90° - r) + (90° - r') = 180°

A + 180° - (r + r') = 180°

A = r + r'

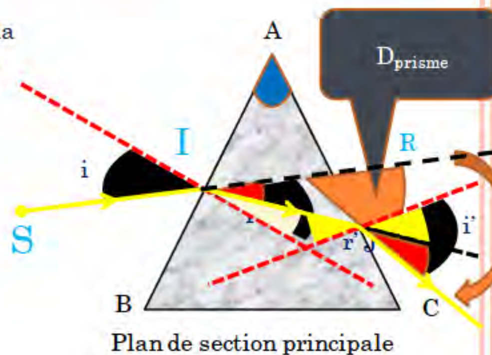


Plan de section principale

II.3.8.2.5. Déviation du rayon lumineux.

II.3.8.2.5.1. Définition.

Elle représente **l'angle** formé par la **direction incidente** et la direction **émergente** du rayon lumineux.



Plan de section principale

$D_p = D_{AB} + D_{AC}$

Avec $D_{AB} = i - r$

Et $D_{AC} = i' - r'$

On déduit que la déviation $D_p = (i - r) + (i' - r')$

$D_p = (i + i') - (r + r')$

Avec $r + r' = A$, on déduit que:

$$D_p = i + i' - A$$

II.3.8.2.5.2. Relations fondamentales.

•Il existe quatre relations fondamentales du prisme qui permettent de calculer les quatre inconnues (i', r, r', D_p) en fonction des éléments connus (i, A, n_{ext} et n_p).

Sur la face AB: $$n_{ext} \times \sin(i) = n_p \times \sin(r)$$
Sur la face AC: $$n_p \times \sin(r') = n_{ext} \times \sin(i')$$

Relation des angles r et r': **$A = r + r'$**
La déviation: **$D_p = i + i' - A$**

On en déduit par exemple la déviation $D_p(i, A, n)$.

II.3.8.2.6. Conditions d'utilisation du prisme.

Le rayon incident pénètre dans le prisme quelque soit l'angle d'incidence i, puisque $n_p > n_{ext}$. En revanche, le rayon émergent ne ressort du prisme que si la réfraction est possible.

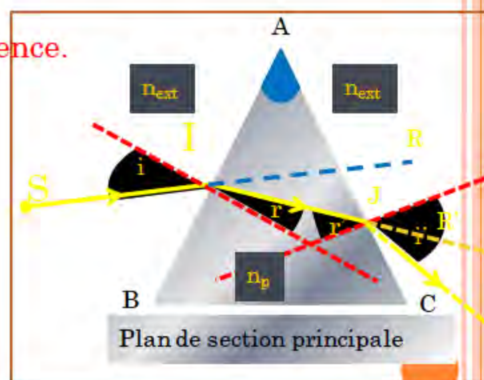
Deux conditions doivent êtres satisfaites.

II.3.8.2.6.1. Condition d'incidence.

Sur le plan théorique on a:

Sur la face AB: $0 \leq i \leq 90°$.
Et $0 \leq r \leq \theta_l$.

Sur la face AC: $0 \leq r' \leq r'_{max} = \theta_l$.
Et $0 \leq i' \leq 90°$.



Sur la face d'émergence, $n_p \sin(r') = n_{ext} \sin(i')$

Lors de l'émergence rasante (i' = 90°) on a : $\sin(r') \leq n_{ext} / n_{prisme}$ d'où: $r' \leq \theta_l$.

Sachant que : $r' = (A - r) \leq \theta_l$ ⇨ $r \geq A - \theta_l$

⇨ **$\sin r \geq \sin(A - \theta_l)$: on multiplie les deux équations par n_p**

⇨ **$n_p \sin r \geq n_p \sin(A - \theta_l)$**

⇨ **$n_{ext} \sin(i) \geq n_{ext} \sin(i_0)$ ⇨ $\sin i \geq \sin i_o$**

La condition correspondante pour l'angle d'incidence i constitue la première condition d'émergence :

$i_o < i < 90°$ avec $i_o = \arcsin[n_p \sin(A-\theta_l)]$

II.3.8.2.6.2. Condition d'émergence.

En plus de la première condition, il existe une autre condition a satisfaire pour que le rayon lumineux émerge du prisme.

Les angles de réfractions interne sur les deux faces sont:

$0 \leq r \leq \theta_l$.

$+ \quad 0 \leq r' \leq \theta_l$.

On faisant la somme des deux équations, on obtient:

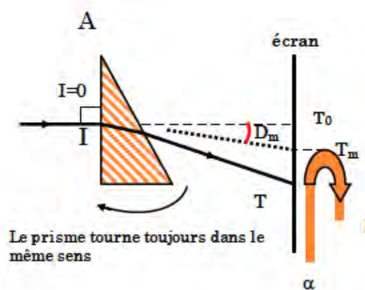
$= \quad \mathbf{0 \leq r + r' \leq 2 \times \theta_l}$.

On sait que r + r' = A, angle du prisme. On déduit que la première condition dite d'émergence est la suivante:

$A \leq 2 \times \theta_l$

II.3.8.2.6.3.. Étude de la déviation

Expérience



On fait tourner le prisme autour de son arête dans le sens de la flèche

Angle d'incidence croît régulièrement

La tache T se déplace sur l'écran suivant le trajet (α) puis reste un instant stationnaire en T_m pour se déplacer finalement en sens inverse suivant le trajet (β)

Conclusion : quand i varie, D décroît, passe par un minimum et croît ensuite

L'expérience montre qu'il existe une valeur i_{min} de l'angle d'incidence i qui rend la déviation D minimale.

Si $i = i_m \Longleftrightarrow D = D_{min}$ minimum de déviation

Après calculs, on montre que la déviation est minimale si :

$$r = r' = \frac{A}{2} \Longrightarrow i = i' = i_{min} = \frac{A + D_{min}}{2}$$

En substituant dans $n_{ext} \times \sin(i) = n_p \times \sin(r)$, on obtient la formule de Fraunhofer, utile pour mesurer l'indice du prisme :

$$n_p = \frac{n_{ext} \times \sin\left(\frac{A + D_{min}}{2}\right)}{\sin(\frac{A}{2})}$$

Remarque : au minimum de déviation le rayon lumineux a un parcours symétrique par rapport au plan bissecteur de l'angle du prisme (r=r' et i=i').

II.3.8.2.7.Variation de la déviation (D) en fonction de (i)

